

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
30 juin 2005 (30.06.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2005/058514 A1**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : **B08B 7/02**,  
B07B 4/06, H01S 3/02, 3/0941

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **THRO,**  
**Pierre-Yves** [FR/FR]; 2 rue Raoul Dautry, F-91190 Gif  
sur Yvette (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2004/050738

(22) Date de dépôt international :  
20 décembre 2004 (20.12.2004)

(74) Mandataire : **CABINET GRYNWALD**; 94 rue Saint  
Lazare, F-75009 Paris (FR).

(25) Langue de dépôt : français

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,  
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,  
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,  
KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,  
MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,  
PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN,  
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(26) Langue de publication : français

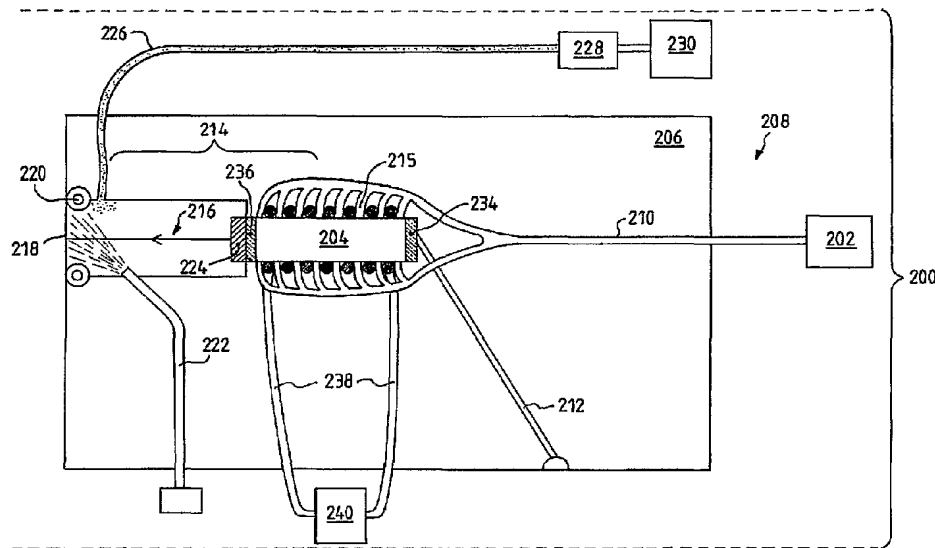
(30) Données relatives à la priorité :  
0351153 19 décembre 2003 (19.12.2003) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **COM-**  
**MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE** [FR/FR];  
31-33 rue de la Fédération, F-75015 Paris (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: SURFACE-CLEANING METHOD AND DEVICE USING A LASER BEAM

(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF DE NETTOYAGE D'UNE SURFACE AU MOYEN D'UN FAISCEAU LASER



(57) Abstract: The invention relates to a method for the laser ablation of a surface (218) located in a first cleaning area (206), said ablation using a laser beam (216) which is emitted by a cavity (204) that is associated with pumping means (202) for supplying electromagnetic radiation to the cavity (204). The inventive method is characterised in that the cavity (204) is associated with pumping means (202) by means of an optical fibre (210) that transmits the electromagnetic radiation such that the pumping means (202) are maintained outside the above-mentioned cleaning area (206). According to the invention, the wavelength of the pump radiation is slightly attenuated in the fibre, said fibre having a length of more than 10 metres.

[Suite sur la page suivante]

WO 2005/058514 A1



(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

**Déclaration en vertu de la règle 4.17 :**

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)) pour US seulement

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

---

(57) **Abrégé :** L'invention concerne un procédé d'ablation laser d'une surface (218) située dans une zone (206) de nettoyage, cette ablation utilisant un faisceau laser (216) émis par une cavité (204) associée à des moyens (202) de pompage fournissant un rayonnement électromagnétique à la cavité (204). Conformément à l'invention, le procédé est caractérisé en ce qu'on associe la cavité (204) aux moyens (202) de pompage par l'intermédiaire d'une fibre optique (210) transmettant le rayonnement électromagnétique de telle sorte que ces moyens (202) de pompage soient maintenus à l'extérieur de la zone (206) de nettoyage, le rayonnement de pompage ayant une longueur d'onde faiblement atténuée dans la fibre dont la longueur est supérieure à 10 mètres.

## Description

- [001] **PROCEDE ET Dispositif de nettoyage d'une surface au moyen d'un faisceau laser.**
- [002] La présente invention se rapporte à un procédé et à un dispositif de nettoyage d'une surface au moyen d'un faisceau laser, notamment lorsque cette surface est située dans une zone contaminée.
- [003] On utilise un faisceau laser 104 (figure 1a), généralement impulsif, pour vaporiser ou sublimer des particules présentes sur une surface 100 afin de nettoyer cette dernière. Un tel procédé, dit d'ablation laser, est utilisé pour différentes applications telles que la restauration d'ouvrages ou la décontamination de surfaces.
- [004] L'ablation laser peut présenter l'inconvénient de provoquer la contamination du générateur 102 du faisceau laser 104 lorsque ce dernier est utilisé pour traiter une paroi située dans une zone 106 contaminée, par exemple radioactive.
- [005] Une telle contamination du générateur 102 entraîne un coût élevé pour le traitement de la surface 100 puisque le générateur 102 doit être décontaminé à son tour, voire même remplacé si le générateur ne peut pas être décontaminé.
- [006] De plus, les éléments 112 de pompage, c'est-à-dire fournissant l'énergie destinée à générer le faisceau laser, et de refroidissement du générateur 102 peuvent aussi être contaminés, ce qui augmente à nouveau le coût du traitement de la surface 100.
- [007] Par ailleurs, lorsque la surface traitée est située dans une zone 106 de faibles dimensions ou difficilement accessible, par exemple à l'intérieur d'une canalisation, l'application du faisceau laser sur cette surface 100 peut être complexe étant donné l'encombrement important d'un dispositif laser comprenant le générateur laser 102 et les éléments 112 de pompage et de refroidissement.
- [008] Selon un deuxième procédé d'ablation laser décrit à l'aide de la figure 1b, on situe le générateur laser 102 et son dispositif 112 de pompage et de refroidissement à l'extérieur de la zone 106 contaminée, une fibre optique 105 transmettant le faisceau laser émis par le générateur 102 jusqu'à la surface à traiter.
- [009] Un tel procédé présente un inconvénient lié à la capacité limitée de transport d'un rayonnement électromagnétique par une fibre optique, notamment en termes d'énergie et de puissance.
- [010] De fait, les capacités de transport d'énergie des fibres actuelles sont de l'ordre de 50 millijoules pour une puissance moyenne de 200 à 300 watts tandis qu'un procédé d'ablation peut requérir des puissances supérieures à ces capacités de manière à être économiquement rentable, et notamment une puissance moyenne supérieure à 500 watts. Il va de soi que de telles puissances supposent un pompage transversal, c'est-à-dire pénétrant dans le matériau laser par sa paroi latérale et non par les faces par

lesquelles transite le faisceau laser.

[011] Dans un cas particulier, le faisceau 104 laser de nettoyage est transmis via la fibre optique 105 jusqu'à un amplificateur 103, situé dans la zone contaminée, amplifiant le faisceau laser avant de l'appliquer sur la surface 100 traitée, comme décrit par exemple dans les brevets EP0475806 ou EP0507641 déposés au nom de Framatome.

[012] Ce cas particulier présente divers inconvénients. Ainsi, l'amplificateur 103 et ses éléments 103' de refroidissement et de pompage peuvent résulter contaminés, ce qui augmente le coût de traitement de la surface 100.

[013] Ce coût est aussi accru par l'utilisation d'un amplificateur qui augmente, en outre, la complexité du procédé.

[014] Finalement, la maniabilité de l'amplificateur 103 est limitée par son poids et son encombrement, ainsi que par le poids et l'encombrement de ses éléments 103' de pompage et de refroidissement.

[015] Dès lors, le traitement de surfaces situées dans des zones de dimensions réduites et/ou difficilement accessibles est difficilement réalisable avec un tel procédé.

[016] Finalement, il convient de souligner que les procédés faisant intervenir la transmission du rayon laser d'ablation par une fibre optique présente un inconvénient dû à la contrainte imposée sur le choix de la longueur d'onde du rayonnement puisque une fibre atténue fortement les rayonnements se propageant à certaines longueurs d'ondes, comme décrit en détail ultérieurement.

[017] Selon un troisième procédé décrit à l'aide de la figure 1c, on utilise des miroirs 107 situés dans la zone contaminée 100 de façon à diriger le faisceau laser 104, émis depuis une zone non contaminée 108, sur la paroi traitée 100. De fait, dans ce cas, seuls les miroirs 107 et le bras robotisé 107' contrôlant ces miroirs sont contaminés lors du traitement de la paroi.

[018] Cependant, un tel procédé à miroirs présente divers inconvénients. Ainsi, il requiert un hublot 118, situé entre la zone contaminée 106 et la zone non contaminée 108, afin de permettre le passage du faisceau laser 104.

[019] En outre, ce procédé nécessite un dispositif à miroirs encombrant, complexe à contrôler et requérant une installation spécifique à la surface et/ou à l'installation traitée.

[020] Par ailleurs, il convient de noter que les lasers ayant un milieu amplificateur solide, en particulier les lasers Nd:YAG, sont les lasers les plus fréquemment utilisés dans les procédés d'ablation laser en combinaison avec un système de pompage par lampes à décharge, ce dernier tendant à être remplacé par un système de pompage utilisant des diodes laser.

[021] En effet, les lasers de ce type sont plus efficaces, plus compacts et nécessitent moins de maintenance, de refroidissement, et d'énergie mais les diodes laser sont des

composants coûteux.

- [022] De plus, les éléments de pompage requièrent une capacité de refroidissement généralement plus importante que le générateur laser auquel ils sont associés et, par conséquent, le circuit de refroidissement de ces éléments de pompage est plus encombrant que le circuit de refroidissement du générateur.
- [023] De fait, les éléments de pompage représentent généralement plus de 50% du coût du dispositif laser auquel ils sont associés. Lorsque les électroniques d'alimentation et les éléments de refroidissement sont aussi considérés, ces éléments de pompage, d'alimentation et de refroidissement peuvent représenter 90% du coût du dispositif laser.
- [024] Par ailleurs, un second aspect de l'invention résulte du fait que l'utilisation d'un laser utilisant un faisceau de longueur d'onde située dans l'ultraviolet (UV), dénommé faisceau UV par la suite, peut être particulièrement intéressant pour effectuer une ablation laser comme décrit dans le brevet FR 9300723 ou dans le document de D. Bauërle intitulé "Laser processing and Chemistry", 3d edition, Springer Verlag, Berlin, 2000, pp 515-516.
- [025] Dans ce dernier document, il est décrit comment la décontamination d'une surface est améliorée par l'utilisation d'un liquide absorbant les radiations de longueur d'onde comprise dans l'ultraviolet de telle sorte que, lorsque cette surface est soumise à l'ablation laser, l'ébullition rapide de gouttelettes de liquide proches de la surface augmente l'efficacité du nettoyage.
- [026] Cependant, un dispositif laser à fibre optique tel que décrit à l'aide de la figure 1b ne peut pas être mis en place pour un laser UV puisqu'une fibre optique transmet un faisceau laser UV avec un très faible rendement, une perte de l'ordre de 7 à 10% de la puissance transmise par mètre parcouru étant généralement subie par ce faisceau.
- [027] Dans certains cas, ces pertes peuvent atteindre jusqu'à 20% de la puissance transmise par mètre parcouru, comme décrit dans "Surface Oxide removal by a XeCl laser for decontamination", Quantum Elec., 30 (6), PP, 495-500 (2000).
- [028] Dès lors, il est nécessaire d'introduire la cavité de faisceau laser UV dans la zone contaminée, ce qui provoque la contamination de ce générateur, comme décrit à l'aide de la figure 1a, augmentant ainsi le coût de la décontamination.
- [029] En outre, l'utilisation d'un faisceau laser ultraviolet pour décontaminer une paroi peut présenter d'importants inconvénients, notamment dans une installation nucléaire.
- [030] En effet, les lasers UV sont généralement des lasers à excimères, c'est-à-dire utilisant des mélanges de gaz éventuellement toxique tels que du fluor ou du chlore, ces mélanges de gaz étant excités par une décharge électrique courte et intense qui peut créer des rayonnements électromagnétiques déclenchant des dispositifs d'alarme, notamment d'une centrale nucléaire.

- [031] La présente invention se propose d'utiliser des lasers solides pompés par diode afin de remédier à au moins un des inconvénients mentionnés, c'est-à-dire qu'elle permet de s'affranchir d'au moins une des contraintes déjà mentionnée liée :
- [032] - à un encombrement excessif du dispositif laser,
- [033] - aux limitations imposées par les capacités de transports énergétiques des fibres optiques vis-à-vis des rayons lasers,
- [034] - aux perturbations électromagnétiques qu'un générateur de rayon laser peut provoquer à l'encontre d'un système de détection de rayonnement électromagnétique,
- [035] - à un coût important d'un système de pompage par diodes.
- [036] - à une éventuelle atténuation du rayonnement transmis par des fibres optiques,
- [037] - à une perturbation électromagnétique dans un milieu sensible à de telles perturbations,
- [038] - à l'utilisation d'un composé toxique dans un milieu à risque.
- [039] - à une contamination de la cavité laser.
- [040] C'est pourquoi, l'invention concerne un procédé d'ablation laser d'une surface située dans une zone de nettoyage, cette ablation utilisant un faisceau laser émis par une cavité associée à des moyens de pompage fournissant un rayonnement électromagnétique à la cavité, caractérisé en ce qu'on associe la cavité aux moyens de pompage par l'intermédiaire d'une fibre optique transmettant le rayonnement électromagnétique de telle sorte que ces moyens de pompage soient maintenus à l'extérieur de la zone de nettoyage, le rayonnement de pompage ayant une longueur d'onde faiblement atténuée dans la fibre dont la longueur est supérieure à 10 mètres.
- [041] Ainsi, le procédé conforme à l'invention permet de traiter une surface à l'aide d'un générateur de rayon laser de grande maniabilité puisque les moyens de pompage et les éléments de refroidissement, distants de la cavité, ne doivent pas être pris en compte pour orienter le faisceau laser.
- [042] De plus, un procédé conforme à l'invention limite le coût d'une décontamination puisque les moyens de pompage alimentant le faisceau laser sont maintenus en dehors de la zone de nettoyage, ce qui permet leur réutilisation avec différentes cavités laser.
- [043] Finalement, il est important de noter que l'invention permet de disposer d'un faisceau laser d'énergie importante puisque ce faisceau n'est pas transmis par une fibre et ne subit donc pas d'atténuation.
- [044] Par ailleurs, des variantes de l'invention permettent de générer un faisceau laser UV à partir d'un faisceau laser de longueur d'onde plus élevée.
- [045] Ainsi, dans une réalisation de l'invention, on considère que le procédé de décontamination d'une surface par ablation utilise un faisceau laser de longueur d'onde située dans l'ultraviolet. A cet effet, on utilise au moins un cristal non linéaire pour diminuer la longueur d'onde du faisceau laser afin que cette longueur d'onde soit comprise dans

le domaine ultraviolet (typiquement  $\leq 400$  nm).

- [046] Ainsi, grâce à l'invention, on génère un faisceau laser UV à partir d'un faisceau laser de longueur d'onde distincte. A ce stade, il convient de noter que cette réalisation de l'invention peut être généralisée à la génération de faisceau laser de toute longueur d'onde ne pouvant être transmise de façon satisfaisante par l'intermédiaire d'une fibre.
- [047] Il est important de souligner que l'utilisation d'un cristal non-linéaire dans le traitement d'une surface située dans une zone de nettoyage est avantageuse malgré le faible rendement de transformation de la longueur d'onde d'un faisceau laser au moyen d'un cristal.
- [048] Dans un mode de réalisation, le nettoyage s'applique à un élément toxique, par exemple radioactif, de telle sorte que la zone de nettoyage est considérée comme une zone contaminée.
- [049] Selon un mode de réalisation, le faisceau laser d'ablation est émis de façon impulsionnelle.
- [050] Dans un mode de réalisation, le rayonnement électromagnétique de pompage est fourni de façon continue par la fibre optique.
- [051] Selon un mode de réalisation, une pluralité de fibres étant utilisée pour transmettre l'énergie de pompage, cette énergie de pompage est diffusée transversalement par rapport à l'axe du milieu laser situé dans la cavité.
- [052] Dans un mode de réalisation, l'énergie de pompage est transmise par des diodes fibrées.
- [053] Selon un mode de réalisation, la surface nettoyée est radioactive.
- [054] Dans un mode de réalisation, on modifie la longueur d'onde du faisceau laser généré par la cavité au moyen d'au moins un cristal non linéaire afin que cette longueur d'onde soit comprise dans le domaine UV.
- [055] Selon un mode de réalisation, la longueur d'onde modifiée est inférieure à 400 nm.
- [056] Dans un mode de réalisation, on dépose une couche de liquide ou des gouttelettes sur la surface sublimée.
- [057] Selon un mode de réalisation, la puissance moyenne délivrée par le laser est supérieure à 200 w.
- [058] L'invention concerne également un dispositif d'ablation laser d'une surface située dans une zone de nettoyage, cette ablation utilisant un faisceau laser émis par une cavité associée à des moyens de pompage fournissant un rayonnement électromagnétique à la cavité, caractérisé en ce qu'il comprend une fibre optique transmettant le rayonnement électromagnétique des moyens de pompage à la cavité selon l'un des procédés conformes à l'une des revendications précédentes.
- [059] L'invention concerne également un système robotisé d'ablation laser d'une surface comprenant un dispositif conforme à l'invention, caractérisé en ce qu'il comprend un

bras articulé apte à effectuer un balayage de la surface à ablater.

[060] Dans un mode de réalisation, le bras articulé est un robot apte à fonctionner en présence de rayonnements nucléaires ambiants.

[061] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront avec la description effectuée ci-dessous, à titre illustratif et non limitatif, en faisant référence aux figures ci-jointes sur lesquelles:

[062] - les figures 1a, 1b et 1c, déjà décrites, représentent des procédés connus de décontamination de surface par ablation laser,

[063] - la figure 2 est un schéma d'un dispositif d'ablation conforme à l'invention, et

[064] - les figures 3a et 3b sont des schémas relatifs à une disposition avantageuse autour d'un générateur laser des moyens de pompage transversal conformes à l'invention.

[065] Sur la figure 2 est représenté un dispositif 200 d'ablation laser conforme à l'invention, c'est-à-dire tel que le dispositif 202 de pompage générant la lumière alimentant la cavité 204 générant le faisceau laser est associé à ce dernier par l'intermédiaire d'une fibre 210.

[066] Par ailleurs, dans cette réalisation on considère que la surface à traiter est contaminée par un élément toxique, c'est-à-dire nocif à la santé d'un individu, de telle sorte que l'ablation de la surface provoque la formation d'une zone contaminée, à l'intérieur de laquelle l'environnement est également toxique, et d'une zone non contaminée isolée de la zone contaminée.

[067] Le dispositif 202 de pompage est situé dans une zone non contaminée 208 protégée de la zone contaminée et confinée 206 dans laquelle est situé le générateur 204. Ainsi, seule la cavité laser 204 risque d'être contaminée dans la zone 206 contaminée tandis que, dans la zone non contaminée 208, les différents éléments du dispositif 202 de pompage, et notamment ses moyens d'alimentation électrique et de refroidissement, sont protégés de toute contamination.

[068] Par ailleurs, dans la zone contaminée 206 l'ensemble du dispositif 214 d'ablation comprend, outre la cavité laser 204, des éléments tels que des roulettes 220, permettant de déplacer cette cavité de telle sorte que le faisceau laser 216 émis ait une incidence donnée.

[069] De préférence, cette incidence est constante et avantageusement choisie normale par rapport à la surface 218 traitée. De fait, une telle incidence normale entraîne les rendements les plus élevés pour la plupart des procédés d'ablation.

[070] Le dispositif 214 peut aussi être associé à des moyens 222 de pulvérisation d'eau pour générer la présence de fines gouttelettes d'eau, ou d'un film d'eau, sur la surface traitée 218 et améliorer ainsi la performance de la décontamination si le faisceau laser a une longueur d'onde comprise dans l'UV, comme précédemment décrit.

[071] De fait, la cavité laser 204 peut émettre un faisceau laser de longueur d'onde située



dans le domaine UV grâce à l'utilisation d'un cristal non linéaire 224 transformant la longueur d'onde du faisceau laser émis 216.

[072] En d'autres termes, la cavité laser 204 génère un faisceau laser 216 de longueur d'onde comprise dans ou supérieure au domaine infrarouge, cette longueur d'onde étant modifiée un (ou plusieurs) cristal (cristaux) non linéaire(s) 224 avant d'atteindre la surface à traiter.

[073] Un cristal non linéaire doubleur de fréquence, permettant de diviser par deux la longueur d'onde du faisceau laser, peut être utilisé. Pour diviser cette longueur d'onde par trois ou quatre, il est possible d'utiliser plusieurs cristaux non linéaires.

[074] Ainsi, en considérant un laser Nd-YAG émettant un faisceau laser avec une longueur d'onde  $\lambda$  de 1,064  $\mu\text{m}$ , on peut obtenir un faisceau laser de longueur d'onde égale à 532 nm (visible), 355 nm (proche UV) ou 266 nm (UV) en fonction de la nature du ou des cristaux utilisés.

[075] La taille du faisceau laser varie avec l'application considérée; elle est typiquement de l'ordre de un à quelques millimètres.

[076] Selon une variante destinée à uniformiser la dose reçue par chaque élément de surface à traiter, on utilise un homogénéiseur qui reçoit le faisceau laser de section quasi circulaire et le transforme en un faisceau de section carré et homogène. De tels dispositifs sont connus de l'homme du métier.

[077] Selon une seconde variante, généralement utilisée en combinaison avec la variante précédente, on place une tête de déviation galvanométrique sur le faisceau laser, entre d'une part soit la sortie de la cavité laser soit la sortie d'éventuels dispositifs de mise en forme ou d'homogénéisation du faisceau, s'il y a lieu, et d'autre part la surface à traiter. Un tel dispositif galvanométrique, lui aussi connu de l'homme du métier, comprend notamment deux miroirs, chacun monté sur un galvanomètre, et un dispositif de commande des galvanomètres.

[078] Une telle tête galvanométrique permet de faire balayer le faisceau laser sur une surface carrée dont le côté est, par exemple, de l'ordre de cinq à dix centimètres.

[079] Dans les applications de l'invention à l'industrie nucléaire, les particules sublimées sont préférentiellement récupérées par un dispositif d'aspiration 226 commandé depuis la zone non contaminée 208. Ce dispositif comprend une turbine 228 et un container 230 qui stocke les déchets de décontamination.

[080] Selon une variante de l'invention, habituellement mise en œuvre dans l'industrie nucléaire, un gaz neutre est diffusé au voisinage de la surface traitée par ablation de façon à éviter des réactions chimiques telles que des réactions d'oxydation.

[081] Dans une variante de l'invention, un gaz oxydant est diffusé au voisinage de la surface traitée de façon à accélérer des réactions chimiques, telles que des réactions d'oxydation.

- [082] Selon la réalisation de l'invention correspondant à la figure 2, la cavité laser 204 comprend un barreau de Nd-YAG, situé entre un miroir de fond de cavité 234 et un miroir semi-réfléchissant 236. Ce barreau est entouré par un circuit de refroidissement 238 dont l'alimentation 240 est située hors de la zone contaminée 206.
- [083] Dans la zone non contaminée 208 est disposée l'alimentation électrique (non représentée) qui alimente différents composants du système tels que le circuit de commande des diodes laser, situé avec ces diodes dans le dispositif 202 de pompage, l'alimentation 240 en fluide de refroidissement et son alimentation électrique, la turbine 228 d'aspiration des déchets et container 230 qui stocke les déchets de décontamination, le cas échéant, le système 222 de pulvérisation d'eau.
- [084] Conformément à l'invention, les diodes laser alimentent la cavité laser 204 en énergie de pompage par l'intermédiaire d'un toron 210 de fibres optiques 215, l'utilisation de ces fibres optiques permettant d'optimiser ce pompage comme expliqué ultérieurement à l'aide des figures 3a et 3b.
- [085] Conformément à une réalisation préférée de l'invention, les diodes laser fournissent un pompage continu, d'une puissance de plusieurs kilowatts tandis que la cavité laser crée une émission impulsionnelle avec une puissance crête de l'ordre de 400 kW et pouvant atteindre 1 MW.
- [086] Aussi, il convient de noter que le faisceau transmis par les fibres optique est faiblement atténué car le rayonnement de pompage peut être transmis selon une longueur d'onde de 808 nm faiblement atténuée dans la fibre en silice de 800 µm de coeur.
- [087] A ce stade, il convient de souligner qu'une atténuation est considérée comme faible lorsqu'elle ne dépasse pas 25 pour cent sur l'ensemble de la longueur de la fibre, cette longueur étant de plusieurs mètres, voire dizaines de mètres.
- [088] Sur la figure 3a est représenté une cavité laser 300 comprenant un barreau laser placé à l'intérieur de la surface cylindrique 302, selon l'axe de symétrie de cette surface, éventuellement un système de déclenchement, non représenté, qui se trouve avec les diodes de pompage dans le dispositif de pompage 202, un miroir de fond de cavité 302a, d'un miroir semi-réfléchissant 302b, des connecteurs 306 placés à l'extrémité des fibres issues des diodes laser fibrées et un circuit de refroidissement schématisé par le tube d'arrivée 308
- [089] Il convient de noter que ce circuit de refroidissement entoure étroitement le barreau 302 laser pour favoriser le transfert thermique, et les extrémités 306 des fibres issues des diodes de pompage sont réparties transversalement tout autour de ce barreau 302 laser pour une meilleure répartition de l'énergie de pompage.
- [090] Pour cela, la faible taille de ces fibres 310 permet de rendre dense l'apport de lumière de pompage, en termes de puissance lumineuse par unité de surface du barreau

302, grâce à la faible taille de ces fibres.

- [091] En d'autres termes, un nombre important de fibres peuvent être disposées autour du barreau.
- [092] La longueur d'onde du faisceau émis par les diodes fibrées est choisie en fonction de la nature du barreau. Mais parmi plusieurs possibilités, on choisit celle correspondant à une faible atténuation de la fibre. Dans cette réalisation utilisant un barreau laser Nd-YAG, la longueur d'onde du faisceau d'alimentation se situe autour de 808 nm.
- [093] Selon une variante de l'invention, on utilise une électrode, créant un champ électrique important, pour attirer et capter les particules sublimées sous l'effet du laser. Ces particules sont alors stockées dans un container comme dans le cas de l'aspiration.
- [094] Il convient de signaler que l'invention permet l'utilisation d'un dispositif muni de fibres pouvant avoir une longueur supérieure à dix mètres étant donnée la faible atténuation du rayonnement transmis par les fibres, ce qui permet alors d'utiliser le système d'ablation dans des installations de grandes dimensions telles que les centrales nucléaires.
- [095] On prévoit, dans le mode préférentiel de mise en oeuvre de l'invention, qu'un bras articulé, apte à effectuer un balayage de la surface à ablater, assure les déplacements de la cavité laser. Ce bras articulé pouvant être un robot apte à évoluer dans l'environnement considéré.
- [096] En fonction des variantes de l'invention, on peut prévoir que ce bras articulé porte aussi des moyens pour aspirer les résidus d'ablation, des moyens pour confiner les gaz d'ablation au voisinage de la surface traitée, des moyens pour déplacer ces moyens de confinement le long de la surface traitée, comme par exemple des roulettes et/ou des moyens pour injecter des gaz assurant l'entraînement des résidus d'ablation.
- [097] Dans une réalisation préférée de l'invention, le dispositif de nettoyage est appliqué à la décontamination des surfaces d'une cellule chaude propre à l'industrie nucléaire. Dans ce cas, on fixe le dispositif de nettoyage à l'extrémité d'un système robotisé apte à effectuer un balayage de la surface à nettoyer dans un environnement fortement radioactif.
- [098] Le bras robotisé doit alors être apte à fonctionner dans le rayonnement nucléaire ambiant, par exemple en utilisant des capteurs en technologie bobinée tels que des résolveurs ou des transformateurs différentiels à variation linéaire (en anglais, LVDT : Linear Variable Differential Transformer), ou encore des codeurs optiques dont tous les composants actifs sont déportés en zone non radioactive. A titre indicatif, un robot Stäubli de type RX 170L convient bien à ce type d'applications. Ses capteurs de position angulaire sont des résolveurs, et plus précisément l'association d'un résolveur de vitesse 0 et d'un résolveur de vitesse n afin d'obtenir un codage absolu. Ils supportent

$10^4$  rads, et en cas de besoin, les mêmes résolveurs sont réalisables en version durcie. Sa motorisation est électrique pour éviter d'éventuelles fuites d'huile.

[099] Avec un faisceau laser carré de 2 mm de côté, et une tête galvanométrique assurant le balayage, une surface carrée de 10 cm de côté peut être effectuée en un temps de quelques dizaines de secondes à quelques minutes, selon la dose requise en chaque point de la surface à traiter.

[100] Le rayon d'action du robot Stäubli de type RX 170L ne permet pas de maintenir le faisceau laser orthogonal à la surface à traiter à toutes les hauteurs. Au delà d'environ 2 m, il convient d'incliner progressivement le faisceau laser par rapport à cette surface, en maintenant le faisceau sur chaque point à traiter d'autant plus longtemps que l'incidence s'éloigne de la normale, de manière à ce que la dose effectivement reçue reste la même.

### **Texte inconnu**

[101]

## **REVENDICATIONS**

1. Procédé d'ablation laser d'une surface (218) située dans une zone (206) de nettoyage, cette ablation utilisant un faisceau laser (216) émis par une cavité (204) associée à des moyens (202) de pompage fournissant un rayonnement électromagnétique à la cavité (204), caractérisé en ce qu'on associe la cavité (204) aux moyens (202) de pompage par l'intermédiaire d'une fibre optique (210) transmettant le rayonnement électromagnétique de telle sorte que ces moyens (202) de pompage soient maintenus à l'extérieur de la zone (206) de nettoyage, le rayonnement de pompage ayant une longueur d'onde faiblement atténuée dans la fibre dont la longueur est supérieure à 10 mètres.

2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que le nettoyage s'applique à un élément toxique, par exemple radioactif, de telle sorte que la zone de nettoyage (206) est considérée comme une zone contaminée.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le faisceau laser d'ablation (216) est émis de façon impulsionnelle.

4. Procédé selon la revendication 1, 2, 3 ou 4 caractérisé en ce que le rayonnement électromagnétique de pompage est fourni de façon continue par la fibre optique (210).

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, une pluralité de fibres étant utilisée pour transmettre l'énergie de pompage, caractérisé en ce que cette énergie de pompage est diffusée transversalement par rapport à l'axe du milieu laser situé dans la cavité.

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que l'énergie de pompage est transmise par des diodes fibrées.

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'on modifie la longueur d'onde du faisceau laser généré par la cavité au moyen d'au moins un cristal non linéaire (224) afin que cette longueur d'onde soit comprise dans le domaine UV.

8. Procédé selon la revendication 9 caractérisé en ce que la longueur d'onde modifiée est inférieure à 400 nm.

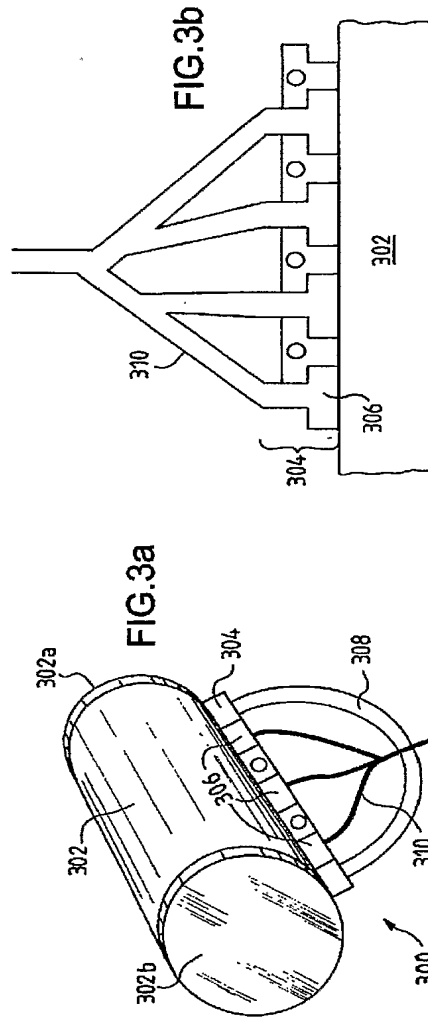
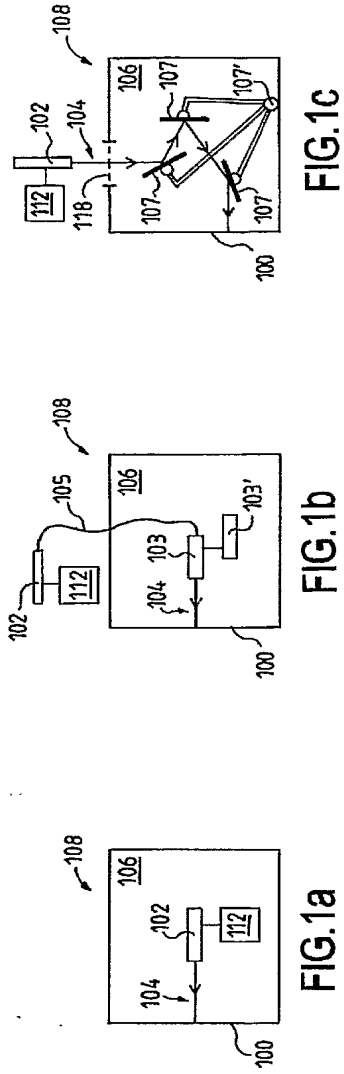
5 9. Procédé selon l'une des revendications 9 ou 10 caractérisé en ce qu'on dépose une couche de liquide ou des gouttelettes sur la surface sublimée.

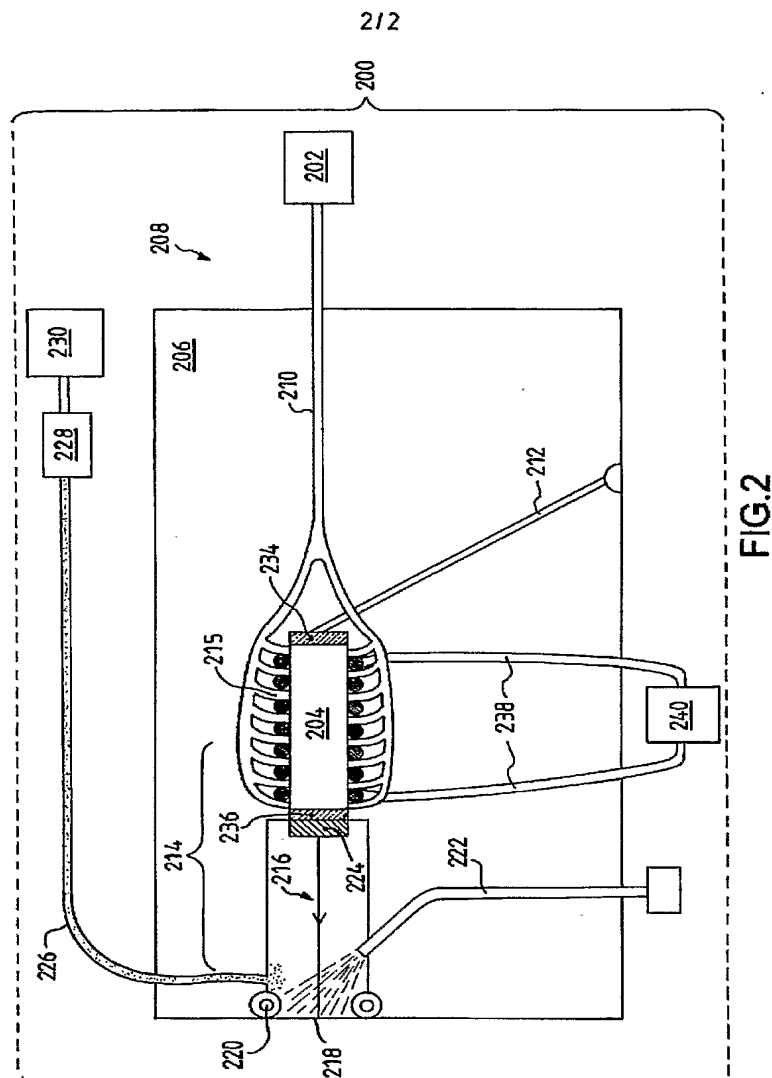
10 10. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la puissance moyenne délivrée par le laser est supérieure à 200 w.

15 11. Dispositif d'ablation laser d'une surface située dans une zone de nettoyage, cette ablation utilisant un faisceau laser émis par une cavité associée à des moyens de pompage fournissant un rayonnement électromagnétique à la cavité, caractérisé en ce qu'il comprend une fibre optique transmettant le rayonnement électromagnétique des moyens de pompage à la cavité selon l'un des procédés conformes à l'une des revendications précédentes.

20 12. Système robotisé d'ablation laser d'une surface comprenant un dispositif conforme à la revendication 12, caractérisé en ce qu'il comprend un bras articulé apte à effectuer un balayage de la surface à ablater.

25 13. Système robotisé selon la revendication 13 caractérisé en ce que la surface à ablater est dans un environnement fortement radioactif, et en ce que le bras articulé est un robot apte à fonctionner en présence de rayonnements nucléaires ambiants.







## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International Application No  
 PCT/FR2004/050738

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B08B7/02 B07B4/06 H01S3/02 H01S3/0941

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B08B G21F H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 723 257 A (BAER THOMAS M ET AL) 2 February 1988 (1988-02-02) column 4, line 57 - line 65	11
Y	column 2, line 14 - line 54 column 4, line 57 - line 65 column 5, line 15 - line 22	1,3,4
Y	US 4 564 736 A (JONES ET AL) 14 January 1986 (1986-01-14) column 2, line 31 - line 57	1,3,4
A	column 1, line 39 - line 41 column 2, line 31	8,10
X	US 6 235 017 B1 (POHL HANS-JOACHIM ET AL) 22 May 2001 (2001-05-22) column 5, line 34 - line 60 figure 1	11
A	column 1, line 5 - line 17	1,3-5,7

-/--

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## ° Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

4 May 2005

Date of mailing of the international search report

17/05/2005

Name and mailing address of the ISA

 European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Militzer, E

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International Application No  
 PCT/FR2004/050738

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 93 05 325 U (HMT HIGH MEDICAL TECHNOLOGIES ENTWICKLUNGS- UND VERTRIEBS AG) 22 July 1993 (1993-07-22) figure 1	11
A	page 1, line 17  page 3, line 14 – page 4, line 26 -----	1,3,4,7, 8
X	US 6 434 177 B1 (JUERGENSEN HEINRICH) 13 August 2002 (2002-08-13) column 2, line 21 – line 61 -----	11
A	EP 0 520 847 A (FRAMATOME SA) 30 December 1992 (1992-12-30) column 1, line 41 – column 2, line 50 -----	1-13
A	US 6 195 505 B1 (VAN ALSTYNE DAVID C) 27 February 2001 (2001-02-27) column 1, line 16 – line 47 column 3, line 39 – column 4, line 59 -----	1-3,7, 11-13
A	GB 2 382 022 A (UNIV MANCHESTER ; TIDY BRITAIN GROUP (GB)) 21 May 2003 (2003-05-21) page 6, line 5 – line 21 page 9, line 5 – line 13 page 13, line 15 – line 25 figures 2,3 -----	1,3,4, 9-11

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2004/050738

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4723257	A	02-02-1988	US 4665529 A DE 3715600 A1 DE 3745125 C2 DE 3745127 C2 FR 2598863 A1 GB 2190784 A ,B JP 2660336 B2 JP 62274788 A US RE34192 E	12-05-1987 03-12-1987 16-04-1998 24-09-1998 20-11-1987 25-11-1987 08-10-1997 28-11-1987 09-03-1993
US 4564736	A	14-01-1986	NONE	
US 6235017	B1	22-05-2001	DE 19709861 A1 DE 59802225 D1 WO 9840940 A1 EP 0917750 A1 JP 2000511360 T	24-09-1998 10-01-2002 17-09-1998 26-05-1999 29-08-2000
DE 9305325	U	22-07-1993	DE 9305325 U1	22-07-1993
US 6434177	B1	13-08-2002	DE 19723269 A1 WO 9856086 A1 DE 59808372 D1 EP 0986847 A1 JP 2000513156 T	10-12-1998 10-12-1998 18-06-2003 22-03-2000 03-10-2000
EP 0520847	A	30-12-1992	FR 2678418 A1 CA 2070265 A1 CZ 9201918 A3 DE 69208161 D1 DE 69208161 T2 EP 0520847 A1 ES 2082401 T3 RU 2084976 C1 ZA 9204699 A	31-12-1992 27-12-1992 13-01-1993 21-03-1996 04-07-1996 30-12-1992 16-03-1996 20-07-1997 27-12-1993
US 6195505	B1	27-02-2001	US 5751897 A US 5656096 A	12-05-1998 12-08-1997
GB 2382022	A	21-05-2003	NONE	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No  
PCT/FR2004/050738

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 B08B7/02 B07B4/06 H01S3/02 H01S3/0941

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 B08B G21F H01S

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 4 723 257 A (BAER THOMAS M ET AL) 2 février 1988 (1988-02-02) colonne 4, ligne 57 - ligne 65	11
Y	colonne 2, ligne 14 - ligne 54 colonne 4, ligne 57 - ligne 65 colonne 5, ligne 15 - ligne 22	1, 3, 4
Y	US 4 564 736 A (JONES ET AL) 14 janvier 1986 (1986-01-14) colonne 2, ligne 31 - ligne 57	1, 3, 4
A	colonne 1, ligne 39 - ligne 41 colonne 2, ligne 31	8, 10
X	US 6 235 017 B1 (POHL HANS-JOACHIM ET AL) 22 mai 2001 (2001-05-22) colonne 5, ligne 34 - ligne 60 figure 1	11
A	colonne 1, ligne 5 - ligne 17	1, 3-5, 7
-/-		

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

4 mai 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

17/05/2005

Norm et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Militzer, E

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR2004/050738

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	DE 93 05 325 U (HMT HIGH MEDICAL TECHNOLOGIES ENTWICKLUNGS- UND VERTRIEBS AG) 22 juillet 1993 (1993-07-22) figure 1	11
A	page 1, ligne 17  page 3, ligne 14 – page 4, ligne 26	1,3,4,7,8
X	US 6 434 177 B1 (JUERGENSEN HEINRICH) 13 août 2002 (2002-08-13) colonne 2, ligne 21 – ligne 61	11
A	EP 0 520 847 A (FRAMATOME SA) 30 décembre 1992 (1992-12-30) colonne 1, ligne 41 – colonne 2, ligne 50	1-13
A	US 6 195 505 B1 (VAN ALSTYNE DAVID C) 27 février 2001 (2001-02-27) colonne 1, ligne 16 – ligne 47 colonne 3, ligne 39 – colonne 4, ligne 59	1-3,7,11-13
A	GB 2 382 022 A (UNIV MANCHESTER ; TIDY BRITAIN GROUP (GB)) 21 mai 2003 (2003-05-21) page 6, ligne 5 – ligne 21 page 9, ligne 5 – ligne 13 page 13, ligne 15 – ligne 25 figures 2,3	1,3,4,9-11

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR2004/050738

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4723257	A	02-02-1988	US 4665529 A	12-05-1987
			DE 3715600 A1	03-12-1987
			DE 3745125 C2	16-04-1998
			DE 3745127 C2	24-09-1998
			FR 2598863 A1	20-11-1987
			GB 2190784 A , B	25-11-1987
			JP 2660336 B2	08-10-1997
			JP 62274788 A	28-11-1987
			US RE 34192 E	09-03-1993
US 4564736	A	14-01-1986	AUCUN	
US 6235017	B1	22-05-2001	DE 19709861 A1	24-09-1998
			DE 59802225 D1	10-01-2002
			WO 9840940 A1	17-09-1998
			EP 0917750 A1	26-05-1999
			JP 2000511360 T	29-08-2000
DE 9305325	U	22-07-1993	DE 9305325 U1	22-07-1993
US 6434177	B1	13-08-2002	DE 19723269 A1	10-12-1998
			WO 9856086 A1	10-12-1998
			DE 59808372 D1	18-06-2003
			EP 0986847 A1	22-03-2000
			JP 2000513156 T	03-10-2000
EP 0520847	A	30-12-1992	FR 2678418 A1	31-12-1992
			CA 2070265 A1	27-12-1992
			CZ 9201918 A3	13-01-1993
			DE 69208161 D1	21-03-1996
			DE 69208161 T2	04-07-1996
			EP 0520847 A1	30-12-1992
			ES 2082401 T3	16-03-1996
			RU 2084976 C1	20-07-1997
			ZA 9204699 A	27-12-1993
US 6195505	B1	27-02-2001	US 5751897 A	12-05-1998
			US 5656096 A	12-08-1997
GB 2382022	A	21-05-2003	AUCUN	